



Sürdürülebilir Yapı Tasarımı; Yapı Bilgi Modelleme Destekli Bir Alan Çalışması

Şeyda AÇIL

*Yüksek Mimar, Doktora Öğrencisi, Gazi Üniversitesi Mimarlık Bölümü
seyda.acil@gazi.edu.tr*

Hasan POLAT

*Dr. Öğretim Üyesi, Fırat Üniversitesi Mimarlık Bölümü
hpolat@firat.edu.tr*

ÖZ

Günümüzdeki yapıların artan enerji ihtiyaçlarını verimliliği yüksek olması fosil kaynakları hızla azaltmaktadır. Yapıların yaşam döngülerini en büyük bileşeni olan kullanım evresinde iklimsel konforun sağlanması için maksimum enerji harcanmaktadır. Harcanan enerjinin düşürülebilmesi için önceden önlemler alınabilmektedir. Erken tasarım önlemlerinin bu derece önemli olduğu inşaat sektöründe günümüzde kullanılan bilgisayar destekli simülasyon programları devreye girmekte ve mevcut tasarımlar üzerinden alternatiflerle test etme imkânı sağlayarak üretim aşamasında maliyet ve zaman tasarrufu, kullanım aşamasında kullanıcı memnuniyeti ve uzun ömür avantajları sağlamaktadırlar. Bu çalışmada üretilen üç boyutlu modellerin sanal gerçeklik ortamında yapım öncesi simülasyonlarla; meydana gelebilecek aksaklıkları, enerji kayıplarının azaltılabileceği, enerji bağımlılığının önüne geçilebileceği ve enerji etkin yapılar tasarlanırken bu teknoloji sayesinde zamandan, bütçeden ve enerjiden gerek yapım gerek kullanım gerek geri dönüşüm aşamasında ne derece etkili olarak kullanılabileceğini ispatlamak amacıyla Kommagene-Odak isimli kütüphane yapısı BIM ortamında modellenerek Autodesk-Insight enerji simülasyon programı ile enerji analizleri yapılmıştır. Mevcut verilerle gerçekleştirilen analizler model üzerine uygulanan farklı senaryolarla yinelenmiştir. Çalışma sonucunda yapılarda enerji korunumu ve tasarrufu konusuyla ilişkilendirilmiş ve BIM teknolojisi kullanımının bu döngüye olan faydaları üzerinde durulmuştur.

Anahtar Kelimeler; Yapı Bilgi Modelleme, Sürdürülebilirlik, Kabuk, Bina Enerjisi

Sustainable Building Design; A Case Study by Building Information Modeling

ABSTRACT

The increasing energy needs of today's buildings with high efficiency reduces fossil resources rapidly. Maximum energy is spent to ensure climatic comfort in the usage phase, which is the biggest component of the life cycles of buildings. Precautions can be taken in order to reduce the energy consumed. Computer-aided simulation programs used today in the construction industry, where early design measures are so important, come into play and provide cost and time savings in the production phase, user satisfaction and longevity advantages in the use phase by providing the opportunity to test with alternatives over existing designs. With pre-production simulations in virtual reality environment of the three-dimensional models produced in this study; The library structure named Kommagene-Focus was modeled in the BIM environment and energy analyzes were carried out with the Autodesk-Insight energy simulation program in order to prove how effectively it can be used from time, budget and energy in both construction, use and recycling stages, while designing energy efficient structures, where possible disruptions, energy losses can be reduced, energy dependence can be avoided. The analyzes performed with the available data were repeated with different scenarios applied on the model. As a result of the study, it was associated with the issue of energy conservation and saving in buildings and the benefits of the use of BIM technology for this cycle were emphasized.

Keywords; Building Information Modeling, Sustainability, Shell, Building Energy

GİRİŞ

Doğa, içerisinde bulunan canlı ve cansız varlıklar ile bir denge içerisinde. Ekosistem adı verilen bu dengenin bir parçası olarak insan, ilk olarak doğayı çözmeye ve hayatta kalabilme



eğilimindeyken artık onunla başa çıkma ve ona hükmetme eğilimindedir. Ekosistem dediğimiz bu kusursuz döngü, bilinçsiz nüfus artışı ve yerleşmelerle, doğal kaynakların bilinçsiz ve gelecek nesilleri düşünmeden kullanılmasıyla, modern hayatın gerektirdiği enerji ihtiyaçlarının yenilenebilir kaynaklar yerine yenilenmesi yüzyıllar süren kaynaklar (fosil kaynaklar) kullanılarak karşılanmasıyla vb. birçok etkenle maalesef tahrip edilmiştir. Doğanın sunduklarının hızla tüketilmesi ve tekrar yerine konamaması sebebiyle kendi içerisinde kusursuz bir döngü halinde olan ekosistem dengesi insan eliyle bozulmaktadır.

Günümüz gelişmişlik düzeyi göstergelerinden en önemlisi tüketilen enerji miktarıdır. Bu faktör ülkenin ekonomisi, sanayisi ve ticari faaliyet alanları hakkında ipucu vermektedir.

Teknolojik ilerlemeler beraberinde artan enerji ihtiyacı çevre kirliliği ve fosil kaynak rezervlerinin hızla yok olması sorunlarını da beraberinde getirmiştir. Elde edilen kazanımlara zarar veren kontrol edilemeyen kalkınma sonuçları temel ekosistem dengesini tehdit eder bir hal almıştır (Ahmadikia et al., 2012).

Sanayi Devriminin kıvılcımı olduğu Ekonomik Kalkınma süreci hedef odaklı ilerleyen bir süreç olduğundan çevresel boyuttaki tahribatları maalesef uzun yıllar göz ardı edilmiştir. Yıllar boyu ekonomik, sosyolojik ve teknolojik alanlarda kat edilen ilerlemenin ardından çevresel sorunlar ve kaynaklarının tükeniyor olmasının başa çıkılması güç birer problem olduğu 20.yy itibarıyla kabul edilmiştir (Mersal, 2016). Günümüz artan teknolojisi ve enerji ihtiyaçları, çevre kirliliği ve fosil kaynak rezervlerinin hızla tükenmesi gibi sorunları da beraberinde getirmiştir. Kontrol edilemeyen kalkınma elde edilen kazanımlara zarar verip, hatta temel ekosistem dengesini tehdit eder bir hal almıştır. (Harris, 2000)

Bu süreçte üretim teknolojisini gerisinde kalan çevresel teknolojiler küresel sorunların önüne geçememiştir. (Cezim, 2013) e göre Havadaki SO₂ artışı ile asit yağmurları artmış, ozon tabakası incelmış, havadaki CO₂ artışı sonucu sera etkisi ile küresel ısınma başlamış, nükleer atıklar, petrol taşımacılığı ve tanker kazaları sebebiyle deniz kirlilikleri meydana gelmiştir.

Meydana gelen bu tür aksaklıklar farkındalığın artmasını sağlamış ve geleneksel kalınma stratejileri yerine sürdürülebilir kalkınma politikaları gündeme gelmeye başlamıştır (Tıraş, 2012). Çevre bilincinin artmasıyla insan merkezli politikalar yerine çevre merkezli politikalar gündeme gelmeye başlamıştır (Aksu, 2011). Böylelikle önceliği ekonomik kalkınmaya veren ve çevre sorunlarının çözümünü ileri bir tarihe erteleyen "Tepki ve Tedavi" (React-and-Cure) stratejisi denilen yöntem terkedilmiş ve yerini "Tahmin ve Önleme" (Anticipate-and-Prevent) stratejisine bırakmıştır (Cezim, 2013).

Günümüze kadar süregelen iyi mimarlık tanımı ise insanları olumsuz çevre şartlarından korumaktan çevreyi insan faktörünün olumsuz etkilerinden koruyan mimari haline evrildi (Alada et al., 1993). 1972 Stockholm Konferansı ile başlayan doğanın fark edilme süreci; 1987 Brutland Raporu, 1992 Rio De Jenario BM Çevre ve Kalkınma Konferansı , (1997-2005) Kyoto Protokolü , 2002 Dünya Sürdürülebilir Kalkınma Zirvesi (Rio+10) ile devam etmiştir. Brutland raporunda da bahsedildiği gibi Sürdürülebilir kalkınma, performans gereksinimlerini, sonraki nesillerin gereksinimlerini riske sokmadan karşılamaktır.

Yapılı çevrenin fiziksel çevreye negatif etkileri arttıkça; iyi mimarlık kavramı da insanları negatif fiziksel çevreden koruyan mimariden, çevreyi; yapıların insan etkisiyle oluşturduğu olumsuz etkilerden koruyan mimarlığa evrilmiştir. (Civan, 2006)

Yapı Bilgi Modelleme (YBM) teknolojisi kullanılarak henüz tasarım aşamasındayken yapıların üç boyutlu modelleri oluşturulup enerji analizleri ile yapının yaşam süreci boyunca ihtiyacı olan enerji miktarı öngörülerek tasarıma müdahale edilebilmesi ve bu sayede günümüzün en büyük gelişmişlik göstergelerinden biri olana enerjinin korunumu ve yerinde kullanılması sağlanarak çevreye enerji ihtiyacı bakımından en büyük baskıyı yapan yapıların enerji



kontrolü sağlanmış olmaktadır. Enerji ihtiyacı bakımından mekanik enerji sistemlerine bağımlılığı azalan bu yapılar sürdürülebilir yapılar olarak adlandırılmaktadır.

Sürdürülebilir binalar, yapı için elverişli olan yer seçiminden başlayan bütüncül bir yaklaşımla, yapay ve doğal çevreye saygılı anlayışıyla tasarlandığı, iklim ve yerel parametrelere özgü koşullar için sürdürülebilir, ihtiyacı kadar tüketen, yenilenebilir enerji kaynaklarından beslenen yapılardır (<https://cedbik.org>, 2021). BIM teknolojisi, binalarda ön tasarım ve yapım öncesi aşamalarda simülasyon yöntemleri ile yapının gerçeğini inşa etmeden önce sanal ortamda inşa etme özelliğiyle; tasarım, yapım ve kullanım aşamalarında olduğu gibi sürdürülebilirlik ve enerji etkin bina kullanım konularında da büyük bir yenilik getirmiştir. (A., 2019) Kütle tasarımı, konsept aşaması, uygulama projelerinin ve as-built, bina yapım aşamaları ve bina işletme aşamalarında BIM ile uygulama esnasında değil önceden hesaplanarak ve öngörülerek etkin bir yapı yönetimi sağlanmaktadır. (Özcan & Erol, 2018) Yapı Bilgi Modelleme (YBM) bir diğer adı ile Building Information Modeling (BIM) ile yapının grafik (geometri, biçim vb.) ve alfasayısal (maliyet, malzeme, fiziksel çevre kontrolü vb.) verilerini içeren üç boyutlu modeli oluşturularak yapı sektörü paydaşlarının ortak kullanımına sunulmaktadır. Yapının fikir aşamasından başlayarak işletim aşamasına kadar olan (planlama, tasarım, projelendirme, yapım) aşamalarında kullanılan bu model farklı paydaşlar tarafından ortak kullanıldığından revizyon kolaylığı sağlamakta, veri dönüştürme ve tekrarlı üretimi (replikasyon) önemli ölçüde azaltmaktadır. (Ofloğlu, 2014a)

Sürdürülebilir mimari tasarımların bir alternatif değil bir gereklilik olduğu günümüz şartlarında Yapı Bilgi Modelleme teknolojisi (Building Information Management/ BIM) kullanılarak geleneksel proje teslim metotlarına kıyasla Bilgi Teknolojisi (Information Technology/ IT) ile enerjiyi daha etkin kullanabilen, sürdürülebilir yapılar tasarlanmasının daha mümkün olduğu literatür taraması ve K-ODAK yapısı Revit modellemesi ve enerji analizleriyle anlatılmak istenmiştir.

LİTERATÜR TARAMASI

Çalışma için, "Sürdürülebilirlik" ve "Sürdürülebilir Mimari" kavramları hakkında literatür taraması yapılmış olup daha sonra mimari ölçekte sürdürülebilir mimariyi destekleyen "Yapı Bilgi Modelleme Teknolojisi" üzerinde literatür taraması yapılmıştır.

Sürdürülebilir Mimarlık Özorhon tarafından yerel faktörlerin göz önünde bulundurularak mevcut koşullara bağlı, uyarlanabilir ve/veya değiştirilebilir bir mimari tasarım ve uygulamalar bütünüdür (Özorhon, 2013).

"Sürdürülebilir Mimarlık" adlı kitabında Sev Sürdürülebilir Mimarlığı "İçinde bulunduğu koşullara ve varlığının her döneminde, gelecek nesilleri de dikkate alarak, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına öncelik veren, çevreye duyarlı, enerjiyi, suyu, malzemeyi ve bulunduğu alanı etkin şekilde kullanılan, insanların sağlık ve konforunu koruyan yapılar ortaya koyma faaliyetlerinin tümü" şeklinde tanımlamıştır. (Sev, 2009)

Dikmen ise; "Sürdürülebilirlik, mimari tasarım sürecinin planlama, programlama, ön tasarım, tasarım, uygulama, kullanım, yıkım ve yeniden planlama evrelerinin tümünü kapsayacak biçimde uzun vadeli bir süreçte değerlendirilmelidir" şeklinde ifade edilmiştir. (Dikmen, 2011)

Civan'a göre Sürdürülebilirlik, "Doğal sistemlerin üretkenliğini ve sağlığını azaltmadan insanların ihtiyaçlarını sağlamaya yönelik bir dengeyi temsil eder" (Civan, 2006). Utkutuğ ise Sürdürülebilirliği "Doğaya saygılı ve gelecek nesillerin ihtiyacı olan kaynakları tüketmeyen" şeklinde tanımlamaktadır (Utkutuğ, 2011).

Küresel ölçekte ele alındığında her yıl tüketilen toplam enerjinin %40 ile çok büyük bir kısımdan yapı sektörü sorumludur (Demircan & Gültekin, 2017). Üretim safhasını ele



alacak olursak; yapı malzemelerinin kırsal bölgelerden çıkarılması aşırı kullanım sebebiyle uzun vadede toprak yapısı ve arazinin bozulmasına, erozyon oluşumuna, su yataklarının tortullaşmasına, yeşil bölgelerin yok olmasına ve işlenmesi esnasında ise çevre kirliliğine sebep olmaktadır (Alada et al., 1993). Yapı kullanım safhasında ise yapılar, yıllık CO2 emisyonunun yaklaşık olarak % 40'ından sorumludurlar (Kim, 1998). Yapıların çevreye olan olumsuz etkileri; CO2 salımının yanında su tüketiminin %12'si, atıkların %65'i ve elektrik tüketiminin %71'inden sorumludurlar. Bu yüzdeler göz önüne alındığında yapıların çevreye olan baskının azaltılması yönünde ne derece etkili birer potansiyel oldukları görülmektedir (Alparslan, 2010).

Şu durumda yapı sektöründe sürdürülebilirlik; yapının tasarım, hammadde çıkarımı, inşası, yıkım ve atık yönetimi gibi süreçlerin önceden tasarlanan bir döngü haline getirilmesiyle sağlanabilir (Alada et al., 1993).

Bir yapı projesinin sürdürülebilir olabilmesi için tasarım safhasında yıkım safhasına kadar ekonomik, sosyal ve çevresel ölçekte bilinçli ve tasarruflu olması gerekmektedir (Erdem & Kadir, 2015).

Yapı ölçeğinde sürdürülebilirlik sağlanabilmesi için yapılması gerekenleri ise şu şekilde sıralayabiliriz:

Yapının HVAC sistemleri enerji verimli seçilerek duvar, pencere vb. yapı bileşenlerinin yüksek izolasyonlu, düşük U- Value (ısı geçirgenlik) değerli malzemelerden seçilmesi ve enerji tüketiminin ASHRAE- Standard 90.1- 2010 Appendix G1 değerlerine göre daha verimli bir şekilde inşa edilmesi gerekmektedir (Mersal, 2016).

Geri dönüşüm potansiyeli yüksek olan, yerel sertifikalı, minimum derecede işlenmiş, düşük içerilmiş enerjiye sahip, yenilenebilir enerji kaynakları ile üretilmiş olan, az su tüketimi ve kirliliğe sebep olan malzemeler kullanılması (<https://knowledge.autodesk.com/search-result/caas/simplecontent/content/solar-photovoltaics-part-1.html>).

Atık suların tekrar kullanılabilceği sistemler ve yağmur suyu toplama sistemleriyle ihtiyaç duyulan su miktarlarının azaltılması (Alada et al., 1993).

Yapı içerisinde az su harcayan veya gri su (geri dönüştürülmüş) kullanımına izin veren armatürler tercih edilmesi (Mersal, 2016).

Yapının inşa sürecinde olduğu kadar kullanım sürecinde de maliyet kontrolü sağlanmalı ve dayanıklı malzemelerle inşa edilerek uzun vadede bakım ve onarım masrafları azaltılmalıdır.

Site analizi ve ön tasarım aşamalarında yapının konumu, ulaşım ağlarına ve doğal kaynaklara olan mesafeleri göz önünde bulundurulmalıdır. Yapı doğal kaynakların ve verimli tarımsal arazilerin bulunduğu toprakları işgal edecek şekilde konumlandırılmamalıdır (Mersal, 2016).

Yapı sosyal yerleşim merkezlerine, toplu taşıma noktalarına ve su kaynaklarına yakın konumlandırılarak ulaşım araçları vasıtasıyla ortaya çıkacak olan sera gazlarının miktarı azaltılmalıdır (Mersal, 2016).

Yapının hacmi, yönelimi, konumu, diğer yapılarla olan mesafe ilişkisi, hakim rüzgar yönü, yüzey açıklıkları ve yapı malzemeleri doğru seçilerek yapının ısıtma-soğutma yüklerini azaltabilir.

Yapıların çevre üzerindeki etkileri ilk defa International Energy Agency (IEA) desteği ile 1996-1998 yılları arasında yürütülen Annex 31 projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. 30'u aşkın konu ile toplamda 14 ülkenin katılımıyla gerçekleştirilen çalışmanın amacı, yapıların



yaşam döngülerinin tamamını enerji akışları yönünden incelemek olmuştur (Mısır, 2016). IEA'ya göre binalar küresel ölçekte tüketilen nihai enerjinin üçte birinden, doğrudan ve dolaylı CO2 emisyonunun yaklaşık olarak %40'undan sorumludur (Ofloğlu, 2014b).

Yapıların tükettiği enerjinin %94.4'ü ise yapı içi konfor koşullarını sağlayan mekanik iklimlendirme sistemleri tarafından harcanmaktadır (Demircan & Gültekin, 2017). Tüm bunlardan özetle söyleyebiliriz ki enerji etkin yapı; yapı içi konfor koşulları için gerekli olan enerjiyi minimuma düşürebilen ve bu kısmı da fosil kaynakları yerine yenilenebilir kaynaklardan karşılayan yapılardır (Ofloğlu, 2016).

Enerji etkin yapı tasarımı için gerçekleştirilmesi gereken 3 hedef vardır (Ozmehmet, 2008): Enerji Korunumu: Erken tasarım aşamasında alınacak önlemlerle yazın soğutma, kışın ısıtma yükünün azaltılarak yapının enerji bağımlılığı azaltılmalıdır.

Pasif İklimlendirme Teknikleri: Pasif rüzgâr ve güneş enerjisi sistemleriyle enerji korunumu desteklenmelidir.

Aktif İklimlendirme Teknikleri: İlk iki aşamada minimum seviyeye düşürülen enerji ihtiyacı doğal kaynakların mekanik sistemlerle desteklendiği aktif sistemlerle karşılanmalıdır.

BIM, parametrik objeler ve nesnelere arasında bilgi iletişimi kurabilen sayısal bir teknolojidir. Dolayısıyla bir yandan inşaat projelerinde önceden tahmin, yönetim ve fiziksel çevre etkileri ile yapının performansını önceden analiz etmeye yönelik kullanılırken öte yandan sanal simülasyon kabiliyetiyle sürdürülebilirlik çabalarına da olağanüstü katkı sunmaktadır. (Altun & Akçamete Güngör, 2016)

Yapının konsept tasarım aşamasından uygulama projelerinin yapılması, uygulanması, as-builtlerin işlenmesi dahil yapının tüm yaşam döngüsü boyunca kullanılan YBM sistemleri sayesinde geleneksel yapım yöntemlerinden ziyade sadece uygulama esnasında değil yapının tüm yaşam döngüsü boyunca etkin bir yapı yönetimi ağırlanmakta ve süre, enerji ve maliyet tasarrufu sağlanmaktadır (AYKAL et al., 2009).

Yapı Bilgi Modelleme (YBM) bir diğer adı ile Building Information Modeling (BIM) ile yapının grafik ve alfasayısal verilerini içeren üç boyutlu modeli oluşturularak yapı sektörü paydaşlarının ortak kullanımına sunulmaktadır. Yapının fikir aşamasından başlayarak işletim aşamasına kadar olan (planlama, tasarım, projelendirme, yapım) aşamalarında kullanılan bu model farklı paydaşlar tarafından ortak kullanıldığından revizyon kolaylığı sağlamakta, veri dönüştürme ve tekrarlı üretimi (replikasyon) önemli ölçüde azaltmaktadır (Aytis & Polatkan, 2010).

Bir araştırmada üç katlı bir konutun yönlendirilmesinin enerji enerji harcamaları ile olan ilişkisi Revit ve GBS yazılımları ile gözlemlenmiş; bina yönlendirilmesinin bina yaşam döngüsü içinde önemli ölçüde enerji tasarrufu sağladığı sonucuna varılmıştır. (Taha et al., 2020) Bir diğer çalışmada iki katlı konutun mevcut durumu Revit ile modellenip analiz edilmiş; bina kabuğunda yeşil malzeme alternatifleri kullanarak mevcut bina ile karşılaştırmış ve enerji performansına etkileri araştırılmıştır. Bu gözlem ile BIM araçlarının önceden görme ve karar alma ve oluşabilecek hataların önüne geçme noktasında önemi vurgulanmıştır. (Abhinaya et al., 2017)

Pasif soğutma etkisinin yıllık enerji tüketimi üzerindeki etkisini araştıran Ahsan ve ark. mevcutta bulunan bir yükseköğrenim binasını Autodesk Ecotect yazılımları ile analiz etmiştir. Uygun ısı yalıtım teknikleri, aydınlatma seçimi, cephe saydamlık oranı, cam malzemelerinin alternatiflerinin seçimi gibi parametrelerle karşılaştırma yapmışlardır. Sonuç olarak yapının 38 aylık enerji tüketiminin %35 oranında azaltılabildiği sonucuna varmışlardır.(Ahsan et al., 2019)



Binalardaki pencerelerin konumu ve boyutu ile bina yönünün bina toplam enerji tüketimi üzerindeki etkisini araştırmak için Kim ve ark. iki katlı bir konut üzerinde araştırma yapmıştır. Revit ve GBS yazılımları yardımıyla alternatif parametreler üzerinden 65 farklı senaryo geliştirilmiş ve cephe saydamlık oranı ile enerji tüketiminin doğru orantılı olduğu ve pencerelerin tüm yönlerde orta yükseklikte yer aldığı binanın enerji tüketiminin minimum seviyeye indiği sonuçlarını ortaya koymuştur. (Kim et al., 2016)

Lim ve ark. mevcut konut stoklarının yenilenmesinde tekno-ekonomik çözüm araştırması olarak Suudi Arabistan'ın doğu eyaletindeki iki örnek bina üzerinde incelemiştir. Araştırmada 8 farklı parametre ile 3 aşamalı enerji iyileştirme planı önermişlerdir. Önerilen planlarla villa tipi konutta yıllık enerji tüketiminin 1., 2. ve 3. Enerji iyileştirme seviyelerine göre sırasıyla %13.79, %19.27 ve %56.9, apartman tipi konutta %22.84, %28.85 ve %58.5 oranında azaldığı sonucuna varmışlardır. (Lim et al., 2021)

Bir diğer çalışmada 1999-2016 yılları arasında yüzden fazla bilimsel çalışmayı ve 12 adet BIM programı incelemiş; araştırmada BIM ile yeşil yapılar arasındaki bağ gözlenmiştir. Bu çalışma yeşil binaların tasarımı, yapım süreci, işletmeye alma ve iyileştirme süreçlerinde BIM kullanımının etkinliği; enerji, emisyon ve havalandırma açısından yeşil binaların analizleri için BIM'in fonksiyonları ve son olarak yeşil bina değerlendirme sistemleri için BIM kullanımının etkinliği şeklinde 3 temel bölümde ele alınmıştır. (Lu et al., 2017)

Özarısoy ve Altan mevcut konut stoğunun enerji performansının iyileştirilmesi ve optimizasyonu için Revit ve GBS yazılımları ile öneriler getirmişlerdir. Araştırmada sürdürülebilir yapı tasarımı için piyasa verileri kullanılarak tasarımcıların, yüklenicilerin, tedarikçilerin ve araştırmacıların enerji verimliliğini artırabilecek stratejiler geliştirilmiştir. (Ozarısoy & Altan, 2019)

Edwards ve ark. konut dışı binaların sürdürülebilir ve enerji etkin yapılara dönüşümünü BIM yazılımları yardımıyla incelemiş ve BREEAM ve LEED gibi yeşil bina sertifikasyonlarının alınabilmesi için karar destek araçlarının pratikliğini de ortaya koymuşlardır. (Edwards et al., 2019)

BIM ve sürdürülebilirlik kavramları arasındaki ilişkileri ve BIM'in mevcut yapı stoklarındaki enerji tüketimini düşürebilecek kullanım olanaklarını araştıran Khaddaj ve Srour; bina enerji performansının artırılması amaçlı yenileme çalışmalarında BIM'in rolünü ve BIM tabanlı yol haritasını ortaya koymuşlardır. (Khaddaj & Srour, 2016)

Bina çatılarının yenilenmesinin bina enerji tüketimine etkisini araştırarak oluşturulan senaryoların sonuçlarını ortaya koyan Habibi ve ark. önerilen çatı alternatifi dıştan içe fotovoltaik panel, EPDM membranı ve yalıtım tabakasıdır. Çalışmada eski bir binanın hem suya karşı dayanıklı hem de kendi enerjisini üretmeye dönüştürmenin uygulanabilirliğini ortaya koymak temel amaçtır. (Habibi et al., 2020)

Jalaei ve Jade BIM, enerji analizi ve maliyet tahmini araçlarını yeşil bina sertifikasyon sistemine bağlayan entegre bir yöntem önermiştir. Tasarımcıların, binanın konsept tasarım aşamasında LCA, enerji analizi, LEED ve maliyet tahminlerini otomatik değerlendiren bir sistem önermişler ve bu önerinin uygulanabilirliğini gerçek bir bina modeli üzerinden göstermişlerdir. (Jalaei & Jade, 2014)

Revit ve Design builder yazılımları ile üç farklı lokasyonda (Kahire, İskenderiye, Asyut) üç farklı konut örneğinin enerji tüketim analizlerini yaparak karşılaştıran Elnabawi ve Hamza Design Builder ile elde edilen simülasyonun Revit'e nazaran daha doğru sonuçlar verdiğini en nihayetinde ise iki yazılımın sonuçlarının gerçek değerlere çok yakın olduğu sonuçlarına varmışlardır. (Elnabawi & Hamza, 2019)

Kavramsal tasarımı, konsept tasarımı, uygulama projeleri ile bina yapım süreçlerinde sürdürülebilirlik kavramlarını ele alarak BIM'in sürdürülebilir kalkınmaya olan katkılarını



inceleyen Chong ve Wang, çalışma ile uygulamada belirleyici olan şartname, standart ve kuralların eksiklerini tespit etmek ve öneriler geliştirmek için 'BIM ve yeşil değerlendirme kriterleri' ile 'BIM ve yenilenebilir enerji' arasındaki ilişkiyi kurmuşlardır.(Chong & Wang, 2016)

Binaların kullanımı sürecinde enerji ihtiyacını azaltan ve karbon salınımını azaltan ve bina konfor kalitesini artıran çözümler için BIM kullanım şeklini ve yöntemini araştıran bir başka çalışmada; binaların enerji tüketimi, enerji performansı ve enerji değerlendirmesi konuları çerçevesinde literatür taraması yapılmıştır. İnceleme sonucunda enerji analiz yazılımlarının BIM ile entegre kullanımının tasarımcılara optimize edilmiş enerji modelinin oluşturulmasında yol gösterici olduğu sonucuna varılmıştır. Varılan sonucu teyit etmek için Dominik Cumhuriyeti'nde yapılan Arboleda Projesi özelinde analizler yapılmış ve dünyanın ilk %103 pozitif enerji binasına ulaşmasına yardımcı olduğunu göstermiştir. (Egwunatum et al., 2016)

MATERYAL VE METOT

Çalışmada sürdürülebilirlik olgusu, mimari açıdan sürdürülebilir yaklaşımlar ve yapı bilgi modelleme kavramları ayrıntılı olarak incelenmiştir. Yapılan literatür taraması sonucunda günümüzde bir tercih olmaktan çıkıp bir zorunluluk haline evrilen sürdürülebilirliğin yapısal ölçekte uygulanabilirliği ve sistemsel gerekliliklerinin mevcut projelere entegrasyonlarının yapı bilgi modelleme teknolojisiyle daha uygulanabilir olduğu görülmüştür. Yapının erken tasarım sürecinde enerji analiz programları sayesinde değerlendirilebilme imkânı bulan enerji etkin sistemlerinin yapının geneline olan uyumları ve uzun vadede elde edilebilecek olan sistem kazanımları görülmüştür.

Amaç, Kapsam ve Hedefler

Çalışmada önce sürdürülebilirlik kavramı incelenmiş olup daha sonra Yapı Bilgi Modelleme kavramı ve araçlarından biri olan Autodesk- Revit programı incelenmiştir. Son olarak çalışmanın sağlanmasını yapmak adına pilot bir proje seçilmiş ve yapının üç boyutlu modeli, bilgisayar destekli parametrik bir program olan Autodesk-Revit programı kullanılarak oluşturulmuştur ve üretilen projenin enerji modeli oluşturularak Autodesk-Insight 360 ile enerji analizleri yapılmıştır. Elde edilen veriler sabit tutularak farklı senaryolar hazırlanmış ve modelleme üzerinde bu senaryolar doğrultusunda değişiklikler yapılmıştır. Daha sonra her bir senaryo için yeni enerji modelleri oluşturularak Autodesk- Insight ile bu enerji modellerinin analizleri gerçekleştirilmiştir. Tüm bu çalışmalar, üretilen üç boyutlu modellerin sanal gerçeklik ortamında yenilenebileceğinin ve bu sayede gerçek yapılarda meydana gelebilecek aksaklıkları, enerji kayıplarının ve fazladan iş yüklerinin önüne geçilebileceğini, elde edilen veriler ışığında mekanik enerji bağımlılığının önüne geçilebileceği ve enerji etkin yapılar tasarlanırken bu teknoloji sayesinde zamandan, bütçeden ve enerjiden gerek yapım gerek kullanım gerek geri dönüşüm aşamasında ne derece etkili olarak kullanılabileceğini ispatlamak amacıyla gerçekleştirilmiştir.

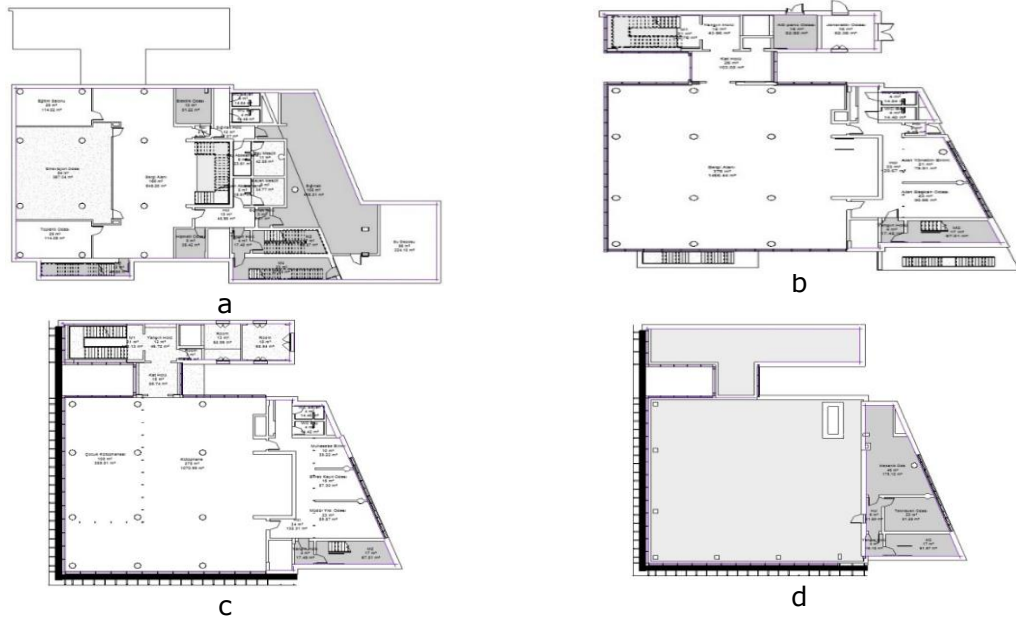
Proje Bilgileri

Pilot proje olarak Adıyaman İli için T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, AB Dış İlişkiler Genel Müdürlüğü, AB Mali Destek Programları Daire Başkanlığı tarafından Adıyaman Turizm Sektörünü Canlandırma Projesi Kapsamında tasarlanan K- ODAK isimli kütüphane yapısı seçilmiştir. Adıyaman Valiliği İl Kültür ve Turizm Bakanlığı tarafından yürütülen ve proje yönetimini PROMET Mimarlığın üstlendiği Kommagene-Odak projesi kapsamında tasarlanan kütüphane yapısı sürdürülebilirlik kriterlerine uygun olarak tasarlanmış olup 2614,71 m² inşaat alanına sahiptir ve toplam 5 kattan oluşmaktadır.

Kat Planları ve Malzeme Listesi

Kat planları Şekil 1'deki gibi Autodesk Revit ortamına aktarılmıştır. Bu işlem sırasında uygulama kütüphanesinden gerçek projede kullanılacak malzemeler gerçek boyutlarına uygun şekilde aktarılarak yapının sanal ortamda bir kopyası oluşturulması hedeflenmiştir. Bu sayede gerçek iklimsel verilerin de yer alacağı analiz aşamasında gerçeğe en yakın

sonuçlar elde edilmesi planlanmaktadır. Planda yer alan mahallerin döşeme malzeme listeleri Tablo 1’de gösterilmektedir.



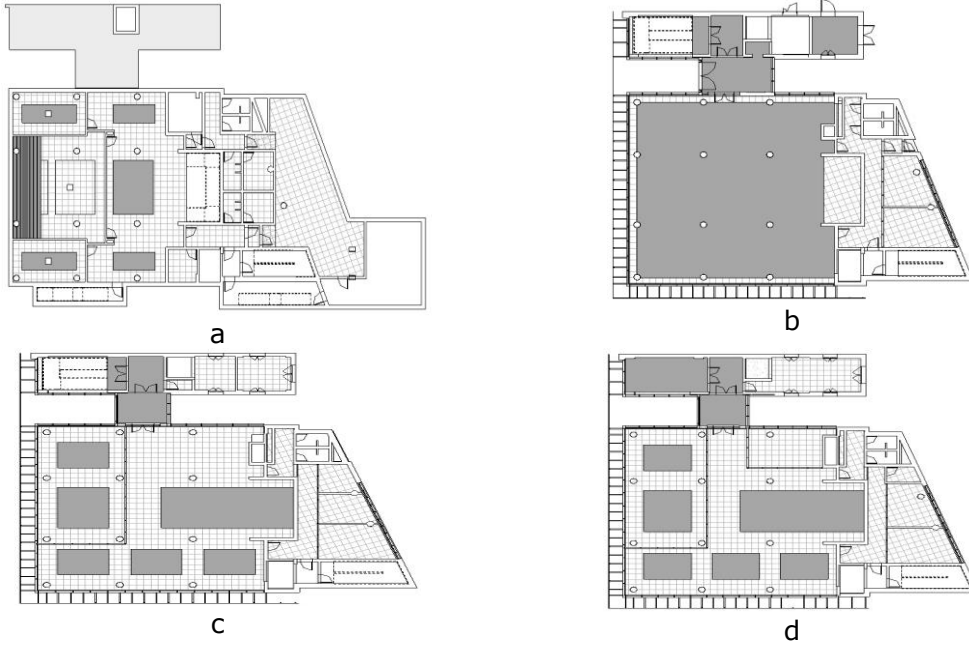
Şekil 1. K-Odak Kütüphane Yapısı Kat Planları a) Bodrum Kat Planı b) Zemin Kat Planı c) Normal Kat Planı d) Çatı Katı Planı (Yazarlar tarafından hazırlanmıştır)

Tablo 1. Bina Döşeme Malzeme Listesi (Yazarlar tarafından hazırlanmıştır)

Malzeme Listesi / Mekan	Döş. (Bod. Kat Genel)	Su Dep.	Mes.	Çakıl Havuzu	Bodrum Kat WC	Jen. Odası	Döşeme Genel 1.2.	Çatı Katı	Mekani k Oda
Emperador (Light) Mermer 30mm	+				+		+		
Harç 30mm	+				+		+		
Tesviye Betonu 40mm	+		+		+		+		
Betonarme Döşeme	+	+	+	+	+	+	+	+	+
XPS (35kg/m ³)	+	+	+	+	+	+		+	
Stabilize Dolgu	+	+	+	+	+	+			
B.A.Radye Temel	+	+	+	+	+	+			
Koruma Betonu	+	+	+	+	+	+			
300gr/m ² Ayırıcı Keçe	+	+	+	+	+	+			
Su Yalıtımı (PVC/ECB Çift Kat)	+	+	+	+	+	+			
300gr/m ² Ayırıcı Keçe	+	+	+	+	+	+			
Grobeton	+	+	+	+	+	+			
Kum Çakıl Dolgu	+	+	+	+	+	+			
Suni Merm Karo Plak (40x40cm)		+							+
Harç 40mm		+							+
Sürme Su İzolasyonu		+							+
Eğim Betonu		+						+	+
Rulo Halı 10mm			+						
Kimyasal Yapıştırıcı			+						
Çakıl 100mm				+					
Yüzey Sertleştiricili Boya						+			
PVC Kaplama							+		
Kimyasal Yapıştırıcı							+		
Self Leveling Şap							+		
Dere Çakılı 60mm									+
Dreanaj Levhası 100mm									+
Bitümlü Su Yalıtımı									+

Tavan Planları ve Malzeme Listesi

Tavan planları Şekil 2'deki gibi farklı bir katman oluşturularak Revit ortamına aktarılmıştır. Bu işlem sırasında uygulama kütüphanesinden gerçek projede kullanılacak malzemeler gerçek boyutlarına uygun şekilde aktarılarak yapının sanal ortamda bir kopyası oluşturulması hedeflenmiştir. Farklı mekanların akustik gereksinimleri farklı olduğundan proje içerisinde birkaç farklı plan şeması görülmektedir. Tavan malzeme listeleri tablo 2'de gösterilmektedir.



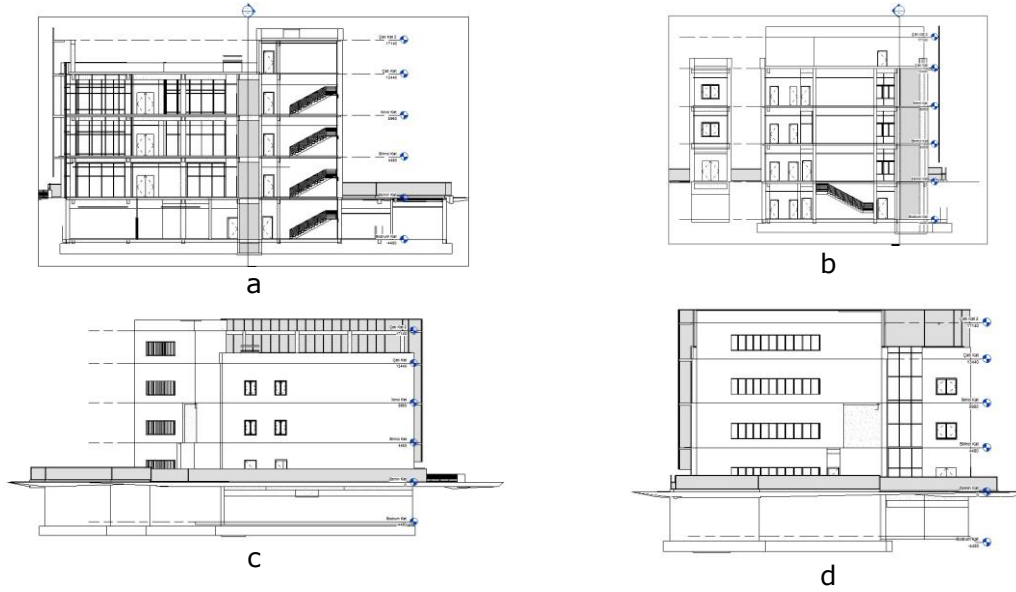
Şekil 2. Bina Tavan Planları a) Bodrum Kat b) Zemin Kat c) Normal Kat d) Çatı Katı
(Yazarlar tarafından hazırlanmıştır)

Tablo 2. Bina Tavan Malzeme Listesi (Yazarlar tarafından hazırlanmıştır)

Malzeme Listesi / Mekan	Genel Liste 1	Jen. Odası	Gene Liste 2	Gene Liste 3	Gene Liste 4	WC
Betonarme Döşeme	+	+	+	+	+	+
Tavan Sıvası	+	+	+	+	+	+
Alçı Levha Asma Tavan	+				+	
Saten Alçı Sıva	+				+	+
Boya	+					+
Camtülü Kaplı Taşyünü		+				
Kümes Teli		+				
Yanmaz Akustik Köpük 25mm			+	+		
Genleşmiş Metal Asma Tavan			+	+		
Akustik Ahlap Panel Asma Tavan					+	
Cam Elyaf Şilte Kaplı Kaplama						+
Levha Asma Tavan Sistemi						+

Kesit- Görünüşler ve Malzeme Listesi

Aynı familyanın farklı nesnelere halinde tasarlanan duvar tipleri proje mahallerine göre değişmektedir. Kat planları oluşturulurken kullandığımız duvar nesnelere yapının gerçek duvar katmanlarını içerdiğinden kesitler de gerçek yapının birer kesiti haline gelmiştir. Şekil 3'te yapıya ait kesit ve görünüşleri tablo 3'de ise duvar katmanlarının malzeme listesi yer almaktadır.



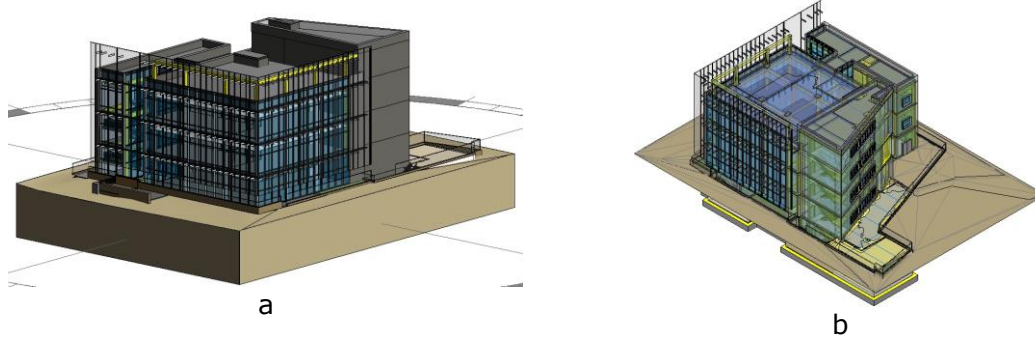
Şekil 3. Bina Kesit ve Görünüşleri a) A-A Kesiti b) B-B Kesiti c) Kuzey Cephe d) Doğu Cephe (Yazarlar tarafından hazırlanmıştır.)

Tablo 3. Bina Duvar Malzeme Listesi (Yazarlar tarafından hazırlanmıştır.)

Malzeme Listesi / Yüzey	Bdrm Kat Perde Dv. 1	Bdrm Kat Perde Dv. 2	Bdrm Kat Perde Dv. 3	Genel Liste 1	Jen. Odası	Genel Liste 3	Dış Cep. 1	Dış Cep. 2	WC
Toprak Dolgu	+								
HDPE Kabarcıklı Drenaj Levhası	+								
XPS (35kg/m ³) 80mm	+	+	+						
Su Yalıtımı (PVC/ECB Çift Kat)	+	+	+						
Dış Sıva	+	+	+				+	+	
B.A. Perde Dv. / B.A. Kolon	+	+	+					+	+
Dış Cephe Boyası		+		+					
Emprador Light Mermer Parapet			+		+				
Emprador Light Mermer Kapl. 30mm							+	+	+
Delikli Tuğla Duvar					+		+		
Saten Alçı Sıva					+	+			
Alçı Sıva					+				+
Kaba Sıva					+				+
Kümes Teli					+				
Camtülü Kaplı Taşyünü					+				
Boya					+	+			
Taşyünü 50mm (52 kg/m ³)						+	+		
Alçı Levha Kaplama (2x12.5mm)						+			
Alçı Levha Konstrüksiyon						+			
Mekanik Konstrüksiyon							+	+	+
Buhar Dengeleyici							+	+	+

Yapı 3 Boyutlu Modeli (BIM) ve Enerji Modeli (BEM)

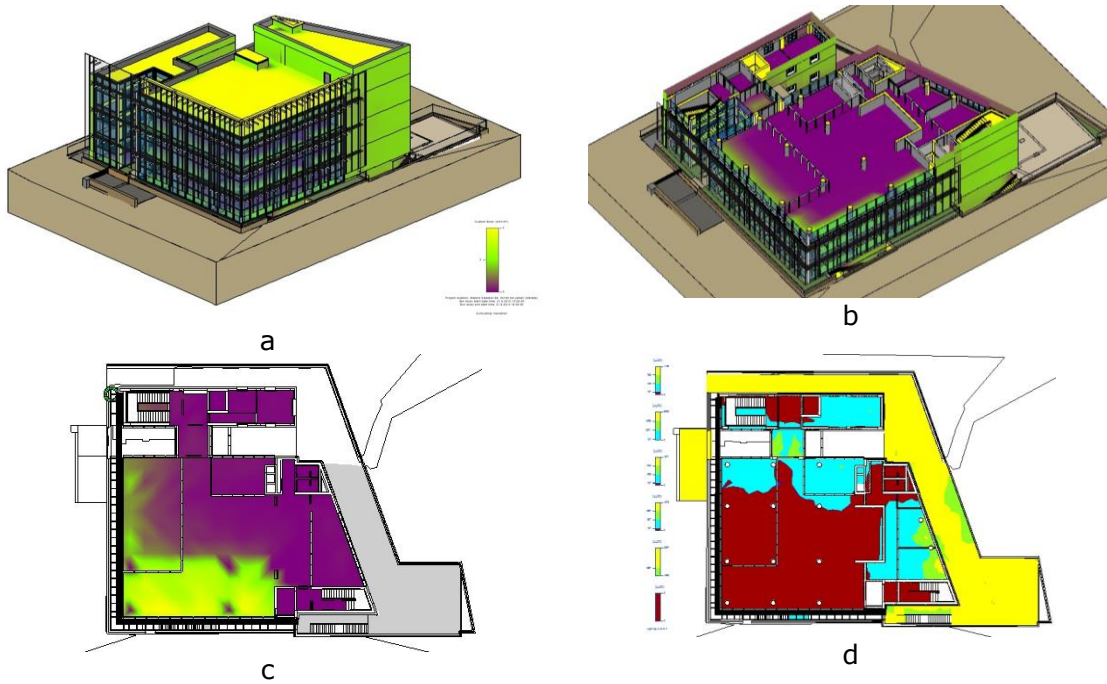
Yapıya ait bilgilerin Autodesk- Revit ortamına girilmesiyle program tarafından oluşturulan 3B Model ve Autodesk-Insight programında analiz edilmek üzere oluşturulan enerji modeli Şekil 4'de gösterilmektedir.



Şekil 4. Binaya ait Üç Boyut Modeller a) 3D Model (BIM) b) 3D Enerji Modeli (BEM)
(Yazarlar tarafından hazırlanmıştır.)

BULGULAR ve TARTIŞMA

Autodesk- Revit ortamında modellenen K-Odak isimli kütüphane yapısının Autodesk-Insight ile oluşturulan mevcut analiz sonuçları, kümülatif güneş analizleri ve aydınlatma analizleri yapılmıştır. İlk sonuçlar gözlemlendiğinde harcanan yıllık enerji miktarının m² başına 356 kWh olduğu görülmüştür. Ardından çalışmanın amacı doğrultusunda farklı senaryolarla yapı üzerinde değişiklikler yaparak yeni enerji modelleri oluşturuldu ve yapının m² başına düşen yıllık enerji tüketim miktarı üzerindeki değişiklikleri gözlemlendi.

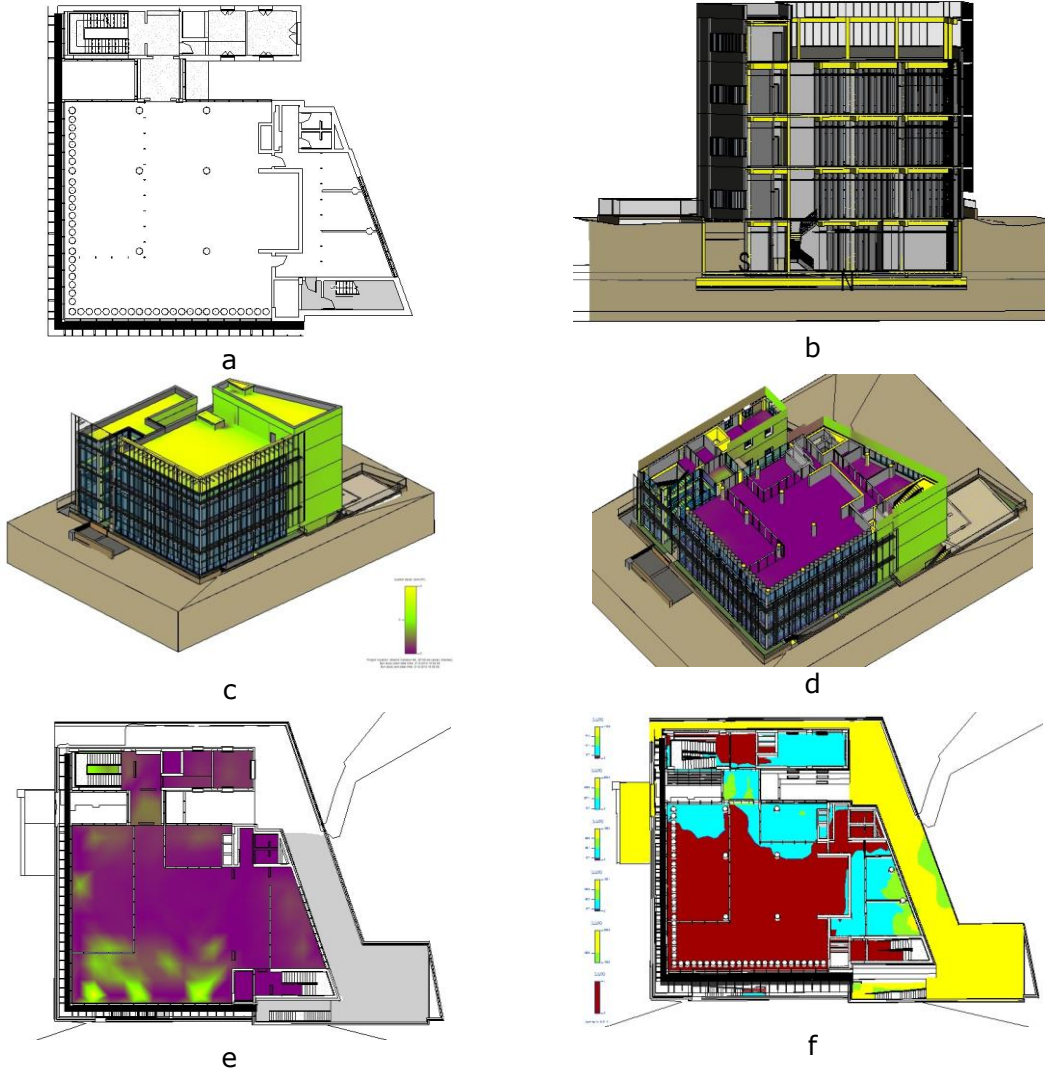


Şekil 5. Bina Mevcut Durum Analiz Sonuçları a) Dış Mekan Güneş Analizi b) İç Mekan Güneş Analizi c) Güneş Analizi Plan d) Aydınlatma Analizi Plan (Yazarlar tarafından hazırlanmıştır.)

Bina Enerji Analizi 1.Senaryo

Yapının güney ve batı cephelerinde giydirme cepheler yer almaktadır. Kuzey yarım kürede yapıların güney-güneydoğu-güneybatı cephelerinin pasif iklimlendirme yöntemleriyle güneş ışınlarının ısıtma enerjisinden faydalanmak için kullanılabileceği bilgisi ile bu cephelere Şekil 6a ve 6b ve 6c'deki gibi su duvarları eklenmiştir. Bu kısımda amaç ilk olarak yapının mevcut ısını korumak ikinci olarak ise ihtiyacı olan enerjinin bir kısmını pasif iklimlendirme sistemlerinin katkılarıyla güneş enerjisinden karşılamaktır. Bu sebeple yapıya bodrum kattan başlayan ve zemin kat, 1. Normal kat ve 2.normal kat boyunca devam eden ve çapı 620mm olan su duvarları mevcut kolon akslarına yerleştirilmiştir. Yapının

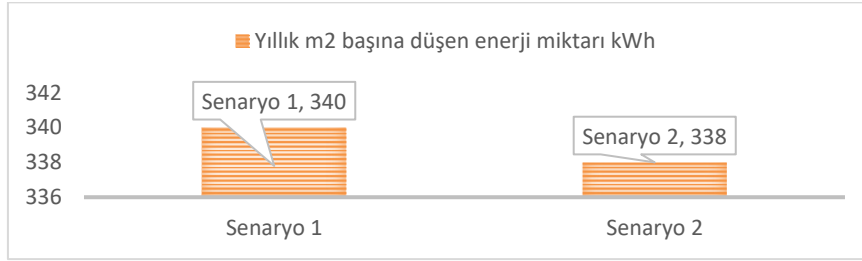
kütüphane yapısı olması ve gün ışığının iç mekâna doğru miktarda ve doğru açıda alınması gerektiği bilgileri göz önünde bulundurularak dış mekanla görsel temasın kesilmemesi istendiğinden trombe duvar (güneş duvarı) yerine su duvarı tercih edilmiştir. Sonuç olarak yaptığımız bu değişiklik yapının yıllık m^2 başına düşen enerji ihtiyacını 356 kWh'tan 340 kWh'a düşürmüştür. Enerji analiz sonuçları, kümülatif güneş analizleri ve aydınlatma analizleri Şekil 6d, 6e ve 6f'deki gibidir.



Şekil 6. Bina 1.Senaryo Analiz Sonuçları a) Eklenen Su Duvarları Plan Şeması b) Eklenen Su Duvarları 3B İç Mekan c) Dış Mekan Güneş Analizi d) İç Mekan Güneş Analizi e) Güneş Analizi Plan f) Aydınlatma Analizi Plan (Yazarlar tarafından hazırlanmıştır)

Bina Enerji Analizi 2.Senaryo

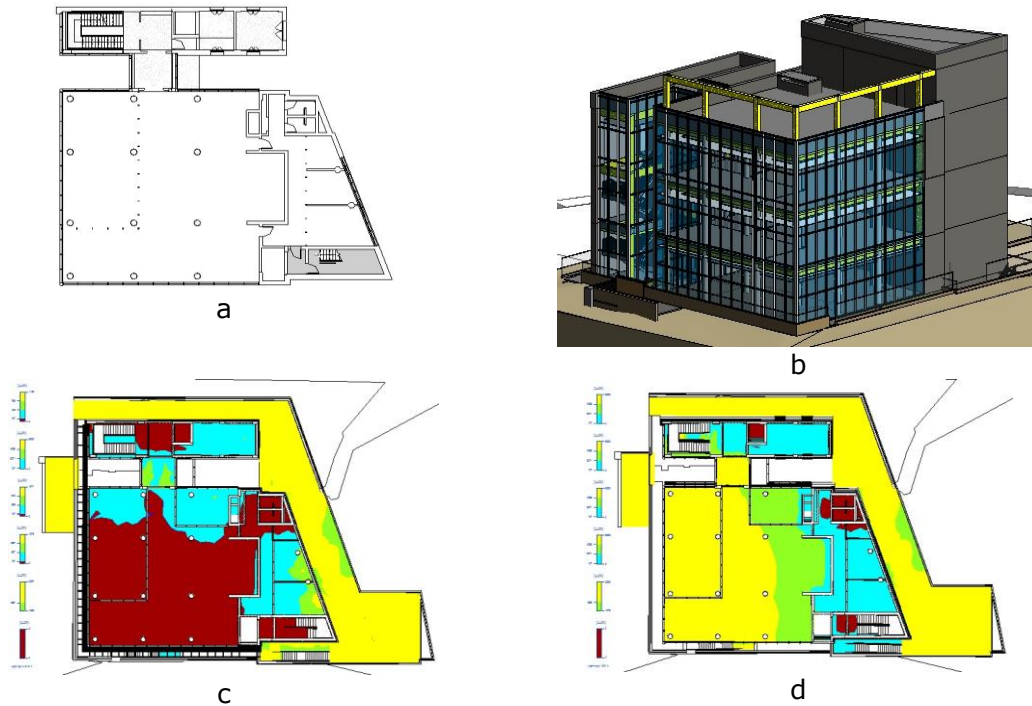
Senaryo ile bodrum kattan başlayıp çatıya kadar devam eden ve çapı 620mm olan su duvarları 2. Senaryo ile güneş enerjisinden daha fazla verim alınacağı düşünülerek çatı katında bir kat yüksekliği kadar uzatılmıştır. Sonuç itibariyle yapılan bu değişiklik ile yapının yıllık m^2 başına düşen enerji ihtiyacı 340 kWh'tan 338 kWh'a düşmüştür.



Grafik 1 Senaryo 1 üzerinde yapılan değişiklikler ile oluşan senaryo 2 karşılaştırması (Yazarlar tarafından hazırlanmıştır)

Bina Enerji Analizi 3.Senaryo

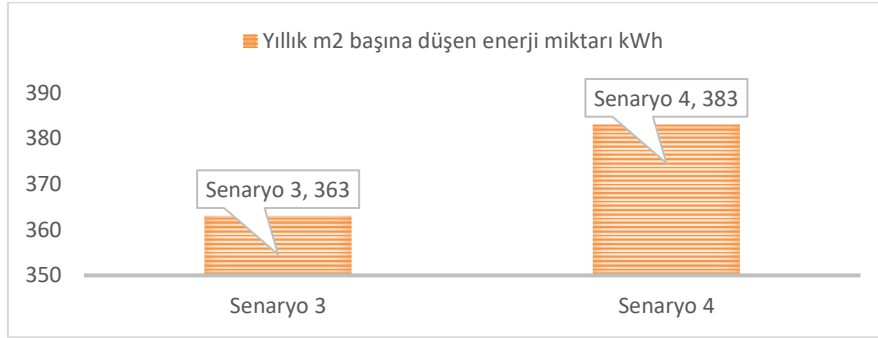
Yapının mevcut bilgileri ile Autodek-Revit ortamında 3B Modeli oluşturulmuş ve ardından enerji analizleri yapılarak m² başına düşen yıllık enerji tüketim miktarının 356 kWh olduğu görülmüştür. Daha sonra 1. ve 2. Senaryolar ile yapı üzerinde enerji ihtiyacını azaltacağını düşündüğümüz birtakım değişiklikler yaparak tekrar enerji analizleri yapılmış ve yıllık enerji tüketim miktarındaki azalma gözlemlenmiştir. Senaryo ile ise yapının batı ve güney cepheleri boyunca devam eden; güneş kırıcı görev gören ve aynı zamanda iç mekân ile dış mekân arasındaki görsel teması sınırlandıran galvaniz baskılı geçme tip ızgara panellerle oluşturulmuş 2. cephe kaldırılmıştır. (Şekil 7a, 7b.) Sonuç itibarıyla yaptığımız bu negatif yönlü değişiklik yapının yıllık m² başına düşen enerji ihtiyacını 356 kWh'tan 363 kWh'a çıkarmıştır. Enerji analiz sonuçları, kümülatif güneş analizleri ve aydınlatma analizleri aşağıdaki gibidir. (Şekil 7c, 7d)



Şekil 7. Binadaki 2. Cephenin Kaldırılması a) Galvaniz Baskılı Geçme Tip Izgaranın Kaldırılması Planı b) Galvaniz Baskılı Geçme Tip Izgaranın Kaldırılması 3B görseli c) Mevcut Yapı Aydınlatma Analizi d) Yeni Senaryo (3.Senaryo) Aydınlatma Analizi (Yazarlar tarafından hazırlanmıştır)

Bina Enerji Analizi 4. Senaryo

3. Senaryo ile güney ve batı cephelerinde yer alan galvaniz baskılı geçme tip ızgara kedi yollarının kaldırılmasına ek olarak 4. Senaryo ile yapının çatı katı yalıtımı kaldırılarak enerji tüketim miktarındaki artış gözlenmek istenmiştir. Bu değişiklik sonucunda yapının m² başına düşen yıllık enerji tüketim miktarının 363 kWh'tan 383 kWh'a yükseldiği gözlemlenmiştir.



Grafik 2 Senaryo 3 üzerinde yapılan değişiklikler ile oluşan senaryo 4 karşılaştırması (Yazarlar tarafından hazırlanmıştır)

SONUÇLAR

Doğal kaynakların basiretsiz bir şekilde kullanılması sonucu insanlık olarak yakında geri dönüşü olmayacak küresel ölçekli çevresel yoksunluklar ve tehlikelerle karşı karşıyayız. Ekosistem dediğimiz kusuz döngünün sadece üzerinde yaşayan canlılara ait olmadığını bilincinde olarak alınacak önlemlerle yaşamsal faaliyetlerimize olanak sağlayan aynı zamanda gelecek nesillerin kaynak ihtiyaçlarını da sınırlandırmayacak ölçüde kaynak kullanan aynı zamanda sürdürülebilirlik ilkelerini de kapsayan kentsel ve yapısal ölçekli sürdürülebilir ve ekolojik yaklaşımli tasarım önlemleri almalıyız.

Bu doğrultuda söyleyebiliriz ki yaşadığımız çevreyi iyileştirmek için öncelikle içinde yaşayan nüfus bilinçlendirilmelidir ancak bu şekilde uygulanan çözümler kalıcı bir hal alır ve sürekli müdahale edilmeksizin de yaşanabilir ve sürdürülebilir çevreler oluşturulabilir.

Toplumsal ihtiyaçlar doğrultusunda ekonomik, sosyal ve çevresel gelişmelere paralel olarak her geçen gün yatırımlar artmaktadır. Gerek inşa gerek de kullanım aşamasında çevre üzerinde baskı oluşturan bu yapıların artışı kaynak rezervlerinde azalma ve çevresel sorunlar olarak geri dönerek içinde yaşadığımız çevre ve beraberinde gelecek nesillerin yaşama alanlarını ve çevre üzerindeki hakları tehdit etmektedir. Bu sebeple halihazırda bulunan çevre politikaları revize edilmeli ve sürdürülebilir planlar oluşturulmalıdır. Kısmi değil, bütünsel ve kesin çözümler hedef olmalıdır. Bu bakımdan, İnşaat sektöründe alınan önlemler uzun vadede çevresel sorunların ve kaynak sıkıntılarının önüne geçecektir.

Sürdürülebilir yapılar tasarlamadaki amacımız görsellikten öteye gitmeli ve insan ihtiyaçlarını karşılarken daha az enerji tüketen ve çevreye zarar vermeyen yapılar tasarlamak olmalıdır. Tüm enerji kaynaklarının kullanım alanlarına olumsuz etkileri vardır. Bizim amacımız öncelikle yapının ihtiyaç duyacağı enerji miktarını azaltmak daha sonra ise ihtiyaç duyacağı enerjiyi yenilenebilir ve sürdürülebilir malzemelerden karşılamak olmalıdır. Böylelikle sürdürülebilirliğin üç temel şartı olan sosyal, çevresel ve ekonomik sürdürülebilirlik şartları sağlanmış olacaktır.

Yapı tasarımı sırasında İklimsel etmenler, arazi konumu, ulaşım ağları, parselin bulunduğu adadaki yapı yoğunluğu, sokak genişlikleri, yerel malzeme kullanılabilirliği vb. faktörler incelenerek uygun tasarım önlemleri alınmalı ve mümkün olduğunca enerji ve malzeme tasarrufu yapılmalıdır. Bu şekilde yapılan tasarımlar sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kaynakları olan doğal unsurların kullanılarak yapının iklimlendirilme ihtiyaçlarının karşılar ve yapının yaşam boyu ihtiyacı olan enerji kaynaklarından tasarruf eder ve tasarım aşamasından yıkım aşamasına kadar çevreye duyarlı, daha az enerji tüketen ve doğayla uyumlu birimler olurlar.

Başarılı bir sürdürülebilir tasarım için insan ve doğal çevre arasında bir denge oluşturulmalı ve bu iki unsur kesinlikle birbirinden bağımsız olarak düşünülmemeli, doğal kaynaklar dikkatli kullanılarak gelecek nesillere aktarılacağı unutulmamalıdır.



NOT

Bu çalışma Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü bünyesinde Dr.Hasan POLAT danışmanlığında Şeyda AÇIL tarafından hazırlanan "Yapı Bilgi Modelleme Teknolojisi İle Sürdürülebilir Yapı Tasarımı" isimli tez çalışmasından üretilmiştir.

KAYNAKLAR

- A., H. (2019). *Çevre Kaynaklarının Korunmasında Yapı Bilgi Modellemesi Teknolojisi ile Yeşil Bina Oluşumunun Değerlendirilmesi* [Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi].
- Abhinaya, K., Kumar, V. P., & Krishnaraj, L. (2017). Assessment and remodelling of a conventional building into a green building using BIM. *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)*, 7(4), 1675-1681.
- Ahmadikia, H., Moradi, A., & Hojjati, M. (2012). Performance analysis of a wind-catcher with water spray. *International journal of green energy*, 9(2), 160-173.
- Ahsan, M. M., Zulqernain, M., Ahmad, H., Wajid, B. A., Shahzad, S., & Hussain, M. (2019). Reducing the operational energy consumption in buildings by passive cooling techniques using building information modelling tools. *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)*, 9(1), 343-353.
- Aksu, C. (2011). Sürdürülebilir kalkınma ve çevre. *Güney Ege Kalkınma Ajansı*, 1, 1-34.
- Alada, A., GÜRPINAR, E., & Budak, S. (1993). Rio konferansı üzerine düşünceler. *İstanbul Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi*(3-4-5).
- Alparslan, B. (2010). Ekolojik yapı tasarım ölçütleri kapsamında Ankara'da örnek bir yapı tasarımı ve değerlendirmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara*.
- Altun, M., & Akçamete Güngör, A. (2016). Yapı Bilgi Modellemesi Tabanlı Bina Enerji Optimizasyonu. 4. *Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi*.
- AYKAL, F. D., GÜMÜŞ, B., & AKÇA, Y. B. Ö. (2009). Sürdürülebilirlik kapsamında yenilenebilir ve etkin enerji kullanımının yapılarda uygulanması. *V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu YEKSEM*, 9, 19-22.
- Aytıs, S., & Polatkan, I. (2010). Sürdürülebilir tasarım kavramında temel ilkelerin yapı ve toplum ölçeğinde değerlendirilmesi. *Yapı Fiziği ve Sürdürülebilir Tasarım Kongresi*, 4-5.
- Cezim, C. (2013). Fotovoltaik Sistemler ve Uygulamaları. TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası Eğitim ve Seminer Etkinlikleri. In.
- Chong, H.-Y., & Wang, X. (2016). The outlook of building information modeling for sustainable development. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 18(6), 1877-1887.
- Civan, U. (2006). *Akıllı binaların çevresel sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmesi* Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Demircan, R. K., & Gültekin, A. B. (2017). Binalarda pasif ve aktif güneş sistemlerinin incelenmesi. *TÜBAV Bilim Dergisi*, 10(1), 36-51.
- Dikmen, Ç. B. (2011). Enerji etkin yapı tasarım ölçütlerinin örneklenmesi. *Politeknik Dergisi*, 14(2), 121-134.
- Edwards, R. E., Lou, E., Bataw, A., Kamaruzzaman, S. N., & Johnson, C. (2019). Sustainability-led design: Feasibility of incorporating whole-life cycle energy assessment into BIM for refurbishment projects. *Journal of Building Engineering*, 24, 100697.
- Egwunatum, S., Joseph-Akwara, E., & Akaiigwe, R. (2016). Optimizing energy consumption in building designs using building information model (BIM). *Slovak Journal of Civil Engineering*, 24(3), 19-28.
- Elnabawi, M. H., & Hamza, N. (2019). Investigating building information model (BIM) to building energy simulation (BES): interoperability and simulation results. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science,
- Erdem, K., & Kadir, K. (2015). ENERJİ KAYNAKLARI-YENİLENEBİLİR ENERJİ DURUMU. *Mühendis ve Makina*, 56(668), 36-47.



- Habibi, S., Obonyo, E. A., & Memari, A. M. (2020). Design and development of energy efficient re-roofing solutions. *Renewable Energy*, 151, 1209-1219.
- Harris, J. M. (2000). Basic principles of sustainable development. *Dimensions of Sustainable Development*, 21-41.
- <https://cedbik.org>. (2021). <https://cedbik.org>
<https://knowledge.autodesk.com/search-result/caas/simplecontent/content/solar-photovoltaics-part-1.html>. Retrieved Nisan, 2021. from
- Jalaei, F., & Jrade, A. (2014). Integrating BIM with green building certification system, energy analysis, and cost estimating tools to conceptually design sustainable buildings. Construction Research Congress 2014: Construction in a Global Network,
- Khaddaj, M., & Srour, I. (2016). Using BIM to retrofit existing buildings. *Procedia Engineering*, 145, 1526-1533.
- Kim, J.-J. (1998). *Qualities, use, and examples of sustainable building materials*. National Pollution Prevention.
- Kim, S., Zadeh, P. A., Staub-French, S., Froese, T., & Cavka, B. T. (2016). Assessment of the impact of window size, position and orientation on building energy load using BIM. *Procedia Engineering*, 145, 1424-1431.
- Lim, Y.-W., Chong, H.-Y., Ling, P. C., & Tan, C. S. (2021). Greening existing buildings through Building Information Modelling: A review of the recent development. *Building and Environment*, 200, 107924.
- Lu, Y., Wu, Z., Chang, R., & Li, Y. (2017). Building Information Modeling (BIM) for green buildings: A critical review and future directions. *Automation in Construction*, 83, 134-148.
- Mersal, A. (2016). Sustainable urban futures: Environmental planning for sustainable urban development. *Procedia Environmental Sciences*, 34, 49-61.
- Mısır, M. (2016). Uluslararası Ormançılık. In.
- Ofluoğlu, S. (2014a). Yapı Bilgi Modelleme: Gereksinim ve Birlikte Çalışabilirlik. *Mimarist, Ocak*, 49, 10-12.
- Ofluoğlu, S. (2014b). Yapı Bilgi Modelleme: Gereksinim ve Birlikte Çalışabilirlik. *Mimarist, Ocak*.
- Ofluoğlu, S. (2016). BIM ve sürdürülebilirlik. *XVIII. Akademik Bilişim Konferansı*, 1183-1187.
- Ozarisoy, B., & Altan, H. (2019). Corrigendum: Low-energy design strategies for retrofitting existing residential buildings in Cyprus. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Engineering Sustainability*,
- Ozmehmet, E. (2008). Dünyada ve Türkiye Sürdürülebilir Kalkınma Yaklaşımları. *Yaşar Üniversitesi E-Dergisi*, 3(12), 1853-1876.
- Özcan, U., & Erol, İ. (2018). Sürdürülebilir Tasarımda Yapı Bilgi Modellemesi (BIM). *International Congress on Engineering and Architecture*,
- Özorhon, G. (2013). 'Sürdürülebilir Mimarlık, Yarının Binaları ve Bir Örnek. *XI. Ulusal*.
- Sev, A. (2009). *Sürdürülebilir mimarlık*. YEM Yayın.
- Taha, F. F., Hatem, W. A., & Jasim, N. A. (2020). Utilizing BIM technology to improve sustainability analyses for Iraqi Construction Projects. *Asian Journal of Civil Engineering*, 21, 1205-1215.
- Tıraş, H. H. (2012). Sürdürülebilir kalkınma ve çevre: Teorik bir inceleme. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 2(2), 57-73.
- Utkuğu, G. (2011). Sürdürülebilir bir geleceğe doğru mimarlık ve yüksek performanslı yeşil bina örnekleri. In: X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi.